

На правах рукописи

Мазец Владислав Казимирович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИЛОВОЙ УСТАНОВКИ
ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ**

Специальность 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидат технических наук

Ижевск - 2016

Работа выполнена на кафедре «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование» ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

Научный руководитель: **Филькин Николай Михайлович**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Автомобили и
металлообрабатывающее оборудование»
ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный
технический университет имени
М.Т. Калашникова», г. Ижевск

Официальные оппоненты: **Келлер Андрей Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
начальник кафедры танковых войск,
профессор кафедры «Колесные и
гусеничные машины автомобилей»
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский
государственный университет»,
г. Челябинск

Карпухин Кирилл Евгеньевич,
кандидат технических наук, доцент,
начальник управления
«Комбинированные энергосиловые
установки» ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»,
г. Москва

Ведущая организация: **ОАО «АВТОВАЗ»**, г. Тольятти

Защита состоится «17» июня 2016 года в 18:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.081.31 при ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 423810, Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, 13А, Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», УЛК-5, ауд. 309.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО Набережночелнинского института (филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 423810, Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, 68/19, диссертационный совет Д 212.081.31.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.081.31

кандидат технических наук, доцент
Мавлеев Ильдус Рифович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Проблемы повышения топливной экономичности и уменьшения негативного влияния автомобильного транспорта на окружающую среду наряду с усовершенствованием применяемых двигателей (энергетических установок) требуют поиска принципиально новых технических решений. Одним из перспективных направлений, бурно развиваемых в настоящее время, является создание и применение в конструкции легкового автомобиля комбинированной (гибридной) энергосиловой установки (КЭСУ), представляющую собой совокупность теплового двигателя (ТД), электродвигателя (ЭД), накопителя энергии (НЭ) и трансмиссии. КЭСУ позволяет более эффективно использовать электрическую и тепловую энергию при выполнении заданного объема работ, что в результате позволяет улучшить топливную экономичность, уменьшить уровень шума, существенно повысить экологическую безопасность транспортных средств.

Решить сложную проблему научного обоснования базовых параметров и характеристик КЭСУ экспериментальными методами практически невозможно из-за большого количества материальных и временных затрат на разработку и изготовление семейства КЭСУ, на установку КЭСУ в состав автомобиля и проведение комплекса лабораторно-дорожных испытаний. Поэтому необходимо разрабатывать соответствующие методики расчета и оптимизации параметров и характеристик КЭСУ, базирующиеся на численных методах расчета показателей эксплуатационных свойств автомобилей, оборудованных КЭСУ, и на методах параметрической оптимизации конструкций. Отметим, что в настоящее время отсутствуют соответствующие методики расчета и исследования, позволяющие обоснованно выбирать конструктивные решения при создании КЭСУ в зависимости от типа автомобиля, на котором она будет установлена, и требований, предъявляемых к его тягово-скоростным свойствам и топливной экономичности, что связано с малым количеством исследований автомобилей, оборудованных КЭСУ. В связи с этим, тема данной работы, в которой разработаны методики структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля, является актуальной.

Цель работы. Повышение топливной экономичности и экологических свойств легкового автомобиля путем применения в его конструкции наиболее рациональной (оптимальной) структурной схемы КЭСУ.

Задачи исследования. Сформулированная цель и анализ проблем по теме диссертации позволили определить следующие основные задачи исследования:

1. Разработать методику структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля, базирующуюся на графе допустимых вариантов его конструкции.
2. Обосновать наиболее рациональные структурные схемы гибридных легковых автомобилей по критериям топливной экономичности и экологичности.
3. Разработать и обосновать методику расчета КПД автомобиля и энергетический подход к анализу эффективности КЭСУ.
4. Провести сравнительный анализ конструктивных схем гибридных автомобилей по КПД КЭСУ.
5. Разработать методику выбора и обоснования базовых параметров

КЭСУ параллельной компоновочной схемы легкового автомобиля.

6. Обосновать наиболее рациональные базовые параметры конструкции КЭСУ параллельной компоновочной схемы легкового автомобиля по критериям топливной экономичности и экологичности.

7. Провести экспериментальные исследования и лабораторно-дорожные испытания легкового автомобиля, оборудованного КЭСУ.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является КЭСУ параллельной компоновочной схемы ДВС и ЭД легкового автомобиля. Предметом исследования являются методики структурной оптимизации и обоснования базовых параметров комбинированной энергосиловой установки легкового автомобиля.

Методы исследования. Методы исследования базируются на: теории движения, расчета эксплуатационных свойств и конструирования транспортных машины; синтеза и параметрической оптимизации конструкций технических систем; математического моделирования; инженерного эксперимента. Экспериментальные исследования выполнены с помощью специализированной контрольно-измерительной аппаратуры в соответствии с нормативными документами на проведение экспериментальных исследований тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей.

Достоверность и обоснованность. Достоверность исследований обеспечена обоснованностью теоретических положений, реализацией их в конструкции экспериментальных образцов легкового автомобиля, оборудованного КЭСУ, экспериментальной проверкой в лабораторных и дорожных условиях.

Научная новизна. Научная новизна выполненной диссертации заключается в следующем:

1. Разработана методика структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля, базирующаяся на модифицированном методе морфологического анализа.

2. Разработаны и обоснованы новая методика расчета КПД автомобиля и энергетический подход к анализу эффективности КЭСУ.

3. Разработана методика выбора и обоснования базовых параметров КЭСУ параллельной компоновочной схемы легкового автомобиля.

4. Обоснованы наиболее рациональные конструктивные схемы гибридных автомобилей и базовые параметры конструкции КЭСУ параллельной компоновочной схемы легкового автомобиля по критериям топливной экономичности и экологичности.

5. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по созданию КЭСУ параллельной компоновочной схемы ДВС и ЭД для легковых автомобилей.

Практическая ценность. Внедрение в практику проектирования разработанных методик, позволяет, во-первых, обоснованно выбрать структурную схему конструкции гибридного автомобиля; во-вторых, выбрать и обосновать базовые параметры КЭСУ параллельной компоновочной схемы, обеспечивающие автомобилю наилучшие показатели топливной экономичности и экологичности; в-третьих, провести расчетные исследования влияния различных конструктивных и мощностных параметров и характеристик КЭСУ на эксплуатационные свойства автомобиля, что позволяет существенно сокращать сроки разработки новых конструкций и объем доводочных испытаний путем выбора наиболее эффективных конструктивных решений, причем возможно сделать это еще на ранней стадии проектирования.

Реализация результатов. Разработанные теоретические положения диссертационной работы внедрены в практику проектирования и применяются при разработке новых экспериментальных конструкций гибридных автомобилей, создаваемых в ФГБОУ ВПО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова", а также в учебном процессе при подготовке магистров в ФГБОУ ВПО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на Международной научно-технической конференции к 30-летию автодорожного факультета Пермского государственного технического университета «Состояние и перспективы транспорта. Обеспечение безопасности дорожного движения» (г. Пермь, 2009 г.); на Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области машиностроения» (г. Тольятти, 2009 г.); на VII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса» (г. Екатеринбург, 2009); на 71-й Международной научно-технической конференции «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» (г. Нижний Новгород, 2010 г.); на Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке» (г. Ижевск, 2011 г.); на Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию транспортного образования и 55-летию Уральского государственного университета путей сообщения (г. Курган, 2011 г.); на VI Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера» (г. Казань, 2011 г.); на Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Современные научные исследования в дорожном и строительном производстве» (г. Пермь, 2011 г.); на 75-й Международной научно-технической конференции «Перспективы развития автомобилей. Развитие транспортных средств с альтернативными энергоустановками» (г. Тольятти, 2011 г.); на Международной молодежной конференции «Энергоэффективные технологии в транспортных системах будущего» (г. Москва, 2011 г.); на Международной научно-практической конференции "Проектирование специальных машин для освоения горных территорий" (Владикавказ, 2011 г.); на Всероссийской научно-практической конференции «Машиностроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства» (г. Ижевск, 2012 г.); на Всероссийской научно-практической конференции «Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства» (Ижевск 2013, 2015 г.г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 33 печатные работы, из них: 6 статей в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ; 19 статей в материалах международных, всероссийских и региональных конференций и других научных изданиях; 8 научно-исследовательских отчетов. Автор диссертации принимал участие в VII выставке-сессии инновационных проектов республиканского молодежного форума (диплом I степени за инновационный проект «Комбинированная энергосиловая установка для легкового автомобиля»), участвовал в VIII Международной специализированной выставке «Нефть. Газ. Химия-2009» и «Машиностроение. Металлургия. Металлообработка – 2009» (диплом за инновационный проект «Комбинированная энергосиловая установка для легкового автомобиля»), участвовал в X выставке-сессии инновационных проектов II республиканского молодежного инновационного форума (диплом I степени за

инновационный проект «Создание комбинированной энергосиловой установки для городского легкового автомобиля»).

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов и списка литературы. Диссертационная работа изложена на 170 страницах машинописного текста, содержит 32 рисунка, 12 таблиц и список литературы из 103 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, определена цель, сформулированы задачи исследования. Раскрывается ее научная новизна и практическая значимость.

В первой главе диссертационной работы рассмотрены проблемы и пути уменьшения загрязнения окружающей среды и улучшение топливной экономичности. Данные проблемы позволили сделать выводы о необходимости создания автомобилей, оборудованных КЭСУ.

Проведен обзор и анализ новой тенденции в мировом автомобилестроении, направленной на решение проблем экологии и экономии топлива за счет использования в конструкциях машин КЭСУ. Над созданием автомобилей с КЭСУ работает большое количество ведущих автомобильных фирм, что подтверждает эффективность, значимость и перспективность выполняемой работы. Следует отметить большое количество научно-технических проблем, связанных с созданием КЭСУ и нерешенных в мире до настоящего времени. Практически все автомобильные фирмы мира проводят большой объем опытно-конструкторских работ, направленных на поиск наиболее рациональных конструктивных схем, параметров и характеристик КЭСУ.

Проектированием автомобилей, оборудованных КЭСУ, заняты многие ученые. Созданию транспортных машин, оборудованных КЭСУ, посвящены работы С.В. Бахмутова, Е.Е. Баулиной, А.Н. Винокуровой, Р.М. Галиева, К.Е. Карпухина, А.В. Келлера, А.С. Кондрашкина, Д.А. Копотева, Г.О. Котиева, В.А. Умняшкина, Н.М. Филькина, А.А. Эйдинова и др. В настоящее время по данному направлению выполняют большой объем исследований ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ", ОАО "КАМАЗ" и др.

Проведенный анализ современного состояния вопросов создания гибридных автомобилей и расчета базовых параметров и характеристик КЭСУ позволил сформулировать цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе рассматривается поиск оптимального технического решения (оптимальных конструкций, параметров и характеристик КЭСУ).

На начальной стадии одной из основных проблем создания гибридного автомобиля, оборудованного КЭСУ, состоящей из ТД и электродвигателя ЭД, является выбор и обоснование его структуры. В данном случае под структурой будем понимать совокупность:

- типа привода (передне-, задне-, полноприводный) – множество D_1 ;
- типа ТД (бензиновый, дизель и др.) – множество D_2 ;
- типа ЭД (постоянного тока, один из видов ЭД переменного тока) – множество D_3 ;
- схемы соединения ТД и ЭД в составе гибридной энергетической установки (последовательная, параллельная, смешанная) – множество D_4 ;

- типа трансмиссии (механическая ступенчатая, механическая автоматическая, вариаторная и др.) – множество D_5 ;
- типа накопителя электрической энергии (свинцово-кислотный, железоникелевый, натриево-серный, литиево-ионный и др.) – множество D_6 ;
- технические средства конструкции комбинированной энергосиловой установки и алгоритма управления ЭД – множество D_7 .

Под структурной оптимизацией будем понимать процесс поиска, во-первых, наиболее простой (исключение структурно-избыточной конструкции), во-вторых, синтез конструкции гибридного автомобиля, создаваемого из некоторого множества конструктивных (узлы, агрегаты и т.п.) и функциональных (элементы, выполняющие заданные функции) элементов.

Необходимость структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля диктуется наличием сравнительно большой номенклатуры множества конструктивных и функциональных элементов, которые существенно отличаются друг от друга по техническим и функциональным возможностям. В качестве структурной модели гибридного автомобиля можно применить граф, вершиной которого является создаваемый гибридный автомобиль, нижними уровнями графа являются элементы множеств D_1, \dots, D_7 (всего 7 уровней).

Задачей структурной оптимизации, заключающейся в последовательном переборе возможных конструктивных решений, является поиск ветви графа, которая обеспечивает экстремум некоторой целевой функции на основе анализа структурных свойств, т.е. свойств элементов множеств D_1, \dots, D_7 . В процессе структурной оптимизации необходимо осуществлять целенаправленный поиск альтернативных структур, обеспечив анализ всего множества возможных конструктивных решений. Полученное решение будет оптимальным с точки зрения структуры гибридного автомобиля, а не конструктивных параметров и характеристик его агрегатов. При этом общее число возможных конструктивных решений $n = n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 \times n_5 \times n_6 \times n_7$, где n_1, \dots, n_7 – количество элементов соответственно множеств D_1, \dots, D_7 .

Структурная, как и параметрическая оптимизация, должна базироваться на поиске экстремума некоторой целевой функции (критерия или множества частных критериев оптимальности). На настоящее время в качестве частных критериев структурной оптимизации предлагается применять:

- возможность производства гибридного автомобиля – критерий Q_1 ;
- цель создания гибридного автомобиля (повышение топливной экономичности, экологичности, тягово-скоростных свойств и др.) – критерий Q_2 ;
- коэффициент полезного действия (КПД) преобразования всех видов энергий в гибридном автомобиле – критерий Q_3 ;
- стоимость гибридного автомобиля – критерий Q_4 .

Критерии Q_1, Q_2 не являются числовыми, и применяется на начальном этапе оптимизации для исключения невозможных и нежелательных реализаций конструкций гибридных автомобилей из числа возможных конструктивных решений n графа. В качестве ограничений при постановке задачи параметрической оптимизации конструкции автомобиля необходимо вводить ограничения:

- на типы элементов множеств D_1, \dots, D_7 ;
- на значения технических показателей элементов множеств D_1, \dots, D_7 в виде одинарных или двойных неравенств.

В процессе структурной оптимизации из множества возможных конструктивных решений n обосновывается множество альтернативных структур k

конструкции гибридного автомобиля $S = (S_1, \dots, S_k)$, из числа которых выбирается в дальнейшем рациональная структура. Для поиска альтернативных структур предлагается применять модифицированный метод морфологического анализа.

На основе изложенной методики был проведен анализ возможных компоновочных решений, в основу которого положена задача выбора и исследования оптимальной конструктивной схемы легкового автомобиля, оборудованного КЭСУ, была проведена работа с целью выбора наилучшего компоновочного решения путем отсеивания неперспективных с точки зрения одновременного улучшения показателей топливной экономичности и уменьшения загрязнения окружающей среды. Детальному анализу наиболее оптимальных конструктивных схем были подвергнуты три схемы (рис. 1, 2 и 3).

Принцип работы гибридного автомобиля с последовательной схемой (рис. 1): выходным валом КЭСУ в данном случае является выходной вал ЭД, с которого поток мощности поступает на ведущие колеса автомобиля. За выходным валом ЭД обычно находится муфта сцепления. Для увеличения и изменения передаваемого крутящего момента между выходным валом и ведущими колесами можно установить коробку передач и редуктор, а далее межколесный дифференциал (Д). Участок от выходного вала КЭСУ до дифференциала условно назовем преобразующей частью (ПЧ) КЭСУ. Отметим, что возможно и другая конструкция ПЧ, например, для полноприводного автомобиля возможна раздаточная коробка передач, межосевой дифференциал и т.п. Любая из перечисленных возможных составляющих ПЧ может также отсутствовать в конструкции.

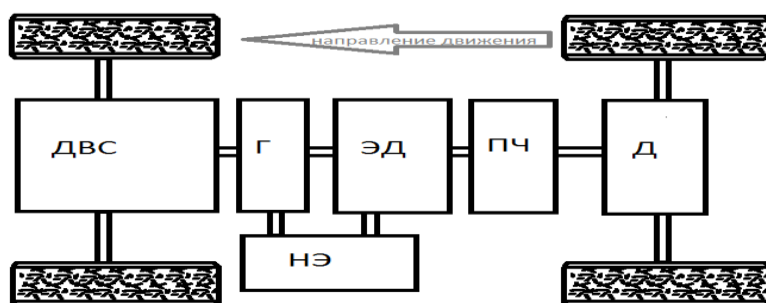


Рисунок 1 – Структурная схема легкового автомобиля с последовательной компоновочной схемой КЭСУ

При движении автомобиля с установившимися скоростями или при разгонах с небольшими ускорениями мощностной поток от ДВС до ведущих колес будет проходить через следующие агрегаты автомобиля: ДВС – генератор (Г) – ЭД – ПЧ – дифференциал (Д). Если при этом накопитель энергии (НЭ) находится в разряженном состоянии, то дополнительно энергия поступает в НЭ по цепи ДВС – Г – НЭ. При необходимости дополнительной силы тяги на ведущих колесах – например, тяжелые дорожные условия, необходимость динамичного разгона, увеличение сопротивления движению при высоких скоростях автомобиля – энергия поступает от НЭ к ведущим колесам по цепи НЭ – ЭД – ПЧ – Д одновременно с мощностным потоком от ДВС по цепи ДВС – Г – ЭД – ПЧ – Д. Возможно движение автомобиля при отключенном ДВС за счет энергии, поступающей только от НЭ, например, при необходимости уменьшения выбросов вредных веществ с отработавшими газами ДВС (движение в закрытых заводских и других помещениях, на территории лечебных учреждений, в городах с

высокими плотностями населения и транспортных потоков и др.). При торможении и при движении накатом за счет перехода ЭД в режим генератора осуществляется рекуперация энергии замедления и торможения в энергию НЭ по цепи Д - ПЧ - ЭД - НЭ.

Принцип работы гибридного автомобиля с параллельной схемой (рис. 2): движение автомобиля с постоянными и близкими к ним скоростями в данном случае осуществляется за счет мощности, передаваемой к ведущим колесам по цепи ТД – согласующий редуктор (СР) - ПЧ - Д. Во время динамичного разгона автомобиля к ведущим колесам поступает дополнительная энергия по цепи НЭ - ЭД - СР - ПЧ - Д. При необходимости зарядки НЭ в режиме движения с установившимися скоростями и близкими к ним происходит зарядка НЭ по цепи ТД - СР - ЭД - НЭ, т.е. ЭД переходит в режим работы генератора. Движение накатом и торможение сопровождается рекуперацией энергии в энергию НЭ по цепи Д - ПЧ - СР - ЭД - НЭ. В качестве СР могут использоваться различные типы редукторов, например, цепной, шестеренчатый, ременный.

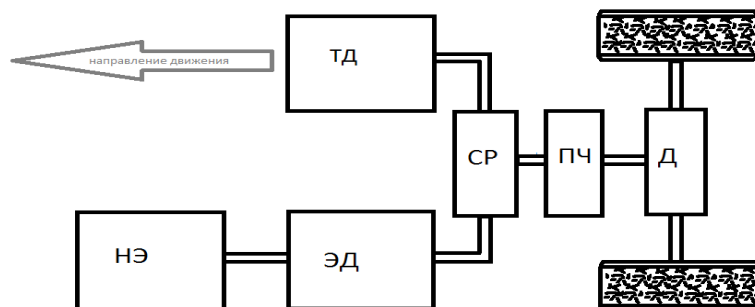


Рисунок 2 – Структурная схема легкового автомобиля с параллельной компоновочной схемой КЭСУ

Принцип работы гибридного автомобиля со смешанной схемой (рис. 3): в этом случае КЭСУ представляет собой замкнутую дифференциальную передачу, позволяющую передавать мощность от ТД к ведущим колесам после делителя мощности (ДМ) двумя потоками. Замыкание мощностных потоков от ТД и ЭД осуществляется за счет введения в конструкцию дифференциального СР (ДСР), что создает дополнительно возможности для создания автоматической трансмиссии автомобиля с КЭСУ. Большая часть мощности от ТД на ДСР идет по цепи с постоянным передаточным отношением ТД - ДМ - ДСР. Другая часть мощности поступает на ДСР через ЭД, который работает под управлением электронного блока как вариатор. Таким образом получается автоматическая трансмиссия.

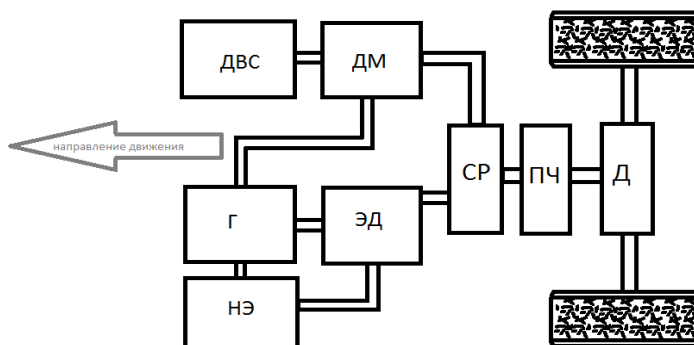


Рисунок 3 – Структурная схема легкового автомобиля со смешанной компоновочной схемой КЭСУ

При движении с установившимися и близкими к ним скоростями передача мощности к ведущим колесам осуществляется по цепям ТД - ДМ - ДСР - ПЧ - Д и ТД - ДМ - Г - ЭД - ДСР - ПЧ - Д. Если разряжен НЭ, то в этом режиме движения дополнительно поступает энергия в НЭ по цепи ТД - ДМ - Г - НЭ. При необходимости реализации высоких крутящих моментов на ведущих колесах в ГЭУ возникает дополнительно третий поток энергии по цепи НЭ - ЭД - ДСР - ПЧ - Д, т.е. поступает дополнительная энергия от НЭ.

В процессе разгона кроме вредных потерь энергии на преодоление сил сопротивления движению возрастает кинетическая энергия АТС (автотранспортного средства). Однако только часть кинетической энергии, связанной с перемещением полезного груза, следует считать полезной человеку. При движении АТС по дороге с переменным профилем также изменяется потенциальная энергия перевозимого груза. Поэтому суммарная полезно используемая механическая энергия будет равна: $W_0^u = 0,5(mv_k^2 - mv_n^2) + mg(h_k - h_n)$, где m – масса полезного груза в кг; v_n , v_k – соответственно начальная и конечная скорости движения в процессе разгона в интервале времени от t_n до t_k в м/с; h_n , h_k – высота над уровнем моря соответственно в начале и конце процесса разгона в м; g – ускорение свободного падения. Тогда интегральный (за весь процесс разгона) КПД АТС

$$\eta = \frac{W_0}{W} = \eta^3 \eta^m \eta^n = \frac{W_0^u}{W^3} = \frac{0,5(mv_k^2 - mv_n^2) + mg(h_k - h_n)}{10^6 H_u Q},$$

где H_u – низшая теплота сгорания топлива, соответствующая количеству теплоты, выделяемой при полном сгорании топлива, и определяемая обычно в МДж/кг для жидкого и в МДж/м³ для газообразного топлива (например, при температуре 15° С и давлении 101,3 кПа для бензина низшая теплота сгорания 44 МДж/кг, для дизельного топлива 42,5 МДж/кг, для метана CH_4 – 33,869 МДж/м³, для водорода H_2 – 10,228 МДж/м³); Q – расход топлива в процессе разгона в кг или в м³.

Рассмотрение понятия КПД с точки зрения процессов преобразования и изменения энергии в АТС позволило получить формулу для определения КПД при разгоне, которая полностью согласуется с формулой расчета эффективного КПД η_e . Эффективный КПД представляет собой отношение полезно используемой энергии к суммарному количеству преобразованной энергии за бесконечно малый промежуток времени, т.е.

$$\eta_e = \frac{dW_0^u/dt}{dW^3/dt}$$

При наличии в конструкции машины накопителей энергии в числителе интегрального КПД появится дополнительный член, учитывающий изменение энергии накопителя за время разгона. Проведенный анализ показал, что средние показатели КПД составляющих, применяемых в конструкциях современных КЭСУ, следующие: ТД – 35 %; мотор колесо – 90 %; тяговый электродвигатель – 92 %; тяговый мехатронный модуль – 94 %; заряд НЭ – 60 %; разряд НЭ – 92 %; Г – 60 %; СР – 97 %; ПЧ – 92 %; Д – 99 %; ДМ – 99 %; ДСР – 95 %.

На основе средних данных были рассчитаны потери для каждой компонентной схемы КЭСУ, которые показали, что при проектировании гибридного автомобиля с точки зрения потерь энергии в КЭСУ более предпочтительна

параллельная конструктивная схема, позволяющая в сравнении с автомобилем, оборудованным только ТД, наряду с улучшением показателей экологичной безопасности повысить топливную экономичность автомобиля.

На основании проведенного анализа представленных конструктивных схем можно сделать следующие выводы:

1. В смешанной конструктивной схеме из-за введения в конструкцию СР будут происходить повышенные потери мощности в трансмиссии КЭСУ. Введение в конструкцию автомобиля дополнительных устройств (делитель мощности) и применение автоматической трансмиссии существенно скажется на стоимости легкового автомобиля с КЭСУ, а так же сложности его создания и дальнейшего обслуживания.

2. Последовательная конструктивная схема КЭСУ, позволяет реализовать работу ТД в малом диапазоне его работы на режимах наилучшей топливной экономичности. Однако получить высокие показатели топливной экономичности в данном случае проблематично. Кроме того, надежность этой конструктивной схемы ниже.

3. При проектировании гибридного легкового автомобиля с точки зрения потерь энергии в КЭСУ более предпочтительна параллельная конструктивная схема, позволяющая в сравнении с автомобилем, оборудованным только ТД, наряду с улучшением показателей экологичной безопасности и повысить топливную экономичность автомобиля.

В третьей главе представлены результаты разработки методики расчета, обоснования и оптимизации базовых параметров КЭСУ.

Частные критерии оптимальности КЭСУ $Q_i = Q_i(\vec{K}, \vec{X}, \vec{P}, \vec{Y})$ функционально связывают показатели эксплуатационных свойств гибридного автомобиля с его конструктивными параметрами \vec{K} и характеристиками \vec{X} , а также с параметрами \vec{P} и характеристиками \vec{Y} , описывающими условия его эксплуатации.

При решении задач оптимального проектирования КЭСУ векторы параметров \vec{P} и характеристик \vec{Y} , как правило, являются заданными, т.е. гибридный автомобиль разрабатывается для конкретных усредненных условий эксплуатации. Поиск оптимального решения ведется по конструктивным параметрам и характеристикам, т.е. по компонентам векторов \vec{K} и \vec{X} .

В общем случае при математической постановке задач оптимального проектирования необходимо задавать три типа ограничений: конструктивные, функциональные и критериальные.

Для проведения расчетных исследований применялся программный комплекс исследования тягово-скоростных свойств и топливной экономичности транспортных средств TRANSMIT, позволяющий проводить оптимизацию параметров трансмиссии по 25 частным критериям оптимальности.

Из множества частных критериев можно в диалоге на ПЭВМ формировать различные обобщенные критерии оптимальности параметров трансмиссии в зависимости от требований, предъявляемых к топливной экономичности и тягово-скоростным свойствам проектируемого гибридного автомобиля. Все семейство возможных обобщенных критериев оптимальности, обладающее эмерджентными свойствами (наличие у обобщенных критериев оптимальности свойств, которые не присущи составляющим его частным критериям оптимальности), можно классифицировать по способу формирования обобщенного кри-

терия: выбор главного критерия (использование в качестве обобщенного критерия одного из частных критериев оптимальности); выбор главного критерия с учетом введенных ограничений на другие частные критерии оптимальности; построение составного критерия (в качестве обобщенного критерия оптимальности берется сумма нормированных частных критериев оптимальности с соответствующими коэффициентами важности); построение составного критерия с учетом введенных ограничений на частные критерии оптимальности.

Таким образом, при проектировании гибридного автомобиля вначале был построен обобщенный критерий оптимальности, который представляет собой совокупность трех критериев:

- критерий № 1, расход топлива в городском ездовом цикле $Q_3(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp})$;
- критерий № 2, время разгона до скорости 60 км/ч $G_1(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp})$;
- критерий № 3, показатель экологических свойств $\text{Экол}(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp})$.

Значения весовых коэффициентов относительной важности частных критериев оптимальности $d_i(\vec{P}, \vec{Y})$ можно определять одним из экспертных методов. Обычно значения $d_i(\vec{P}, \vec{Y})$ выражаются в процентах, а $\sum_{i=1}^{m_0} d_i(\vec{P}, \vec{Y}) = 100\%$. Рассмотрим один из таких методов, хорошо зарекомендовавших себя на ряде разнотипных практических задач на протяжении многих лет в нашей исследовательской деятельности. Этот метод, предполагающий создание экспертной группы и обработку результатов проведенной экспертизы, реализован в виде пакета прикладных программ на ПЭВМ.

Искомые значения весовых коэффициентов важности рассматриваются как компоненты некоторого вектора: $\vec{d} = (d_1(\vec{P}, \vec{Y}), d_2(\vec{P}, \vec{Y}), \dots, d_{m_1}(\vec{P}, \vec{Y}))$. Проводится групповая экспертиза, в которой участвует n экспертов. По результатам проведенной экспертизы строится матрица экспертных оценок частных критериев оптимальности:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m_01} & d_{m_02} & \dots & d_{m_0n} \end{pmatrix}$$

где d_{ij} - экспертная оценка значения относительной важности i -го частного критерия, предложенная j -ым экспертом. При этом эксперт в соответствии с ГОСТ 23554.2-81 оценивает каждый частный критерий по десятибалльной системе. Наиболее важному по мнению эксперта частному критерию ставится оценка десять баллов. Коэффициент весомости каждого последующего по важности частного критерия эксперт определяет как долю весомости первого частного критерия, используя ряд значений от нуля до десяти баллов с точностью 0,5 балла.

Результаты экспертного опроса являются исходными данными расчета весовых коэффициентов важности. Индивидуальные балльные оценки частных критериев оптимальности каждого эксперта нормируются. В результате нормирования сумма коэффициентов важности частных критериев приводится к 100 %, т.е. будут выполняться равенства:

$$P_j = \sum_{i=1}^{m_0} d_{ij} = 100\% \quad (j = \overline{1, n})$$

Вычисление вектора \vec{d} (коэффициентов важности) для матрицы D проводится по рекуррентным формулам:

$$\begin{aligned}\vec{d}_k &= D * D^T * \vec{d}_{k-1} / C_k, \\ \vec{q}_k &= D^T * D * \vec{q}_{k-1} / C_k.\end{aligned}$$

где $C_k = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_0} d_{ij} (\sum_{l=1}^n d_{il} * q_l)$ – матрица, транспонированная по отношению к матрице D ; $\vec{q} = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ – вектор коэффициентов компетентности экспертов.

На первом шаге итерации ($k = 1$) предполагается, что коэффициенты компетентности всех экспертов равны $1/n$, т.е. $\vec{q}_0 = (1/n, 1/n, \dots, 1/n)$, а компоненты вектора $\vec{d}_0 = (d_1^0, d_2^0, \dots, d_{m_0}^0)$ определяются по формулам: $d_i^0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}$ ($i = \overline{1, m_0}$). На каждом последующем шаге ($k = 2, 3, \dots$) векторы \vec{d} и \vec{q} определяются по формулам (3.9), (3.10). Условием окончания данного итерационного процесса расчета векторов коэффициентов компетентности экспертов и весовых коэффициентов важности частных критериев являются одновременное выполнение неравенств: $\sum_{j=1}^n (q_j^k - q_j^{k+1})^2 \leq \varepsilon_q$, $\sum_{i=1}^{m_0} (d_i^k - d_i^{k+1})^2 \leq \varepsilon_d$, где ε_d , ε_q – погрешности сумм квадратов отклонений компонент векторов k и $k+1$ итераций.

Построение обобщенного критерия проведено на основе экспертных данных. Экспертная группа состояла из 15 человек. При формировании группы накладывалось два ограничения: первое – экспертом может быть только владелец легкового автомобиля, второе – каждый эксперт должен заниматься проектированием автомобилей. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Расчетные значения весовых коэффициентов важности частных критериев позволили построить обобщенный критерий оптимальности в виде:

$$K_1(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp}) = 30.70 * G_1(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp}) / G_1^* + 35.26 * Q_3(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp}) / Q_3^* + 34.04 * \text{Экол}(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp}) / \text{Экол}^*, \quad (1)$$

где Q_3^* , G_1^* , Экол^* – соответственно значения критерия 1, 2 и 3 автомобиля ИЖ-2126, оборудованного серийным тепловым двигателем, для нормирования частных критериев оптимальности.

Максимальный преодолеваемый подъем легкового автомобиля должен быть не менее 36 %, т.е. $G_{11}(i_1^{tp}) \geq 36\%$. Кроме того, введено ограничение, что бы максимальная скорость движения была не менее 110 км/ч, т.е. $G_{16}(i_1^{tp}, \dots, i_k^{tp}) \geq 110$ км/ч. При этом должна быть обеспечена достаточно высокая динамика разгона на скоростях движения до 60 км/ч.

Следовательно, задачу расчета оптимальных передаточных чисел трансмиссии разрабатываемого гибридного автомобиля можно сформулировать следующим образом: определить передаточные числа трансмиссии, обеспечивающие минимум обобщенному критерию оптимальности (1) при введенных критериальных ограничениях.

Таблица 1 - Результаты экспертного опроса для частных критериев оптимальности гибридного автомобиля

Номер эксперта	Частные критерии оптимальности			Компетентность эксперта
	1	2	3	

1	10.0	7.0	9.0	6.52
2	8.0	6.5	10.0	6.13
3	8.5	8.5	10.0	6.72
4	10.0	9.0	7.5	6.59
5	10.0	9.5	7.0	6.58
6	9.5	7.5	10.0	6.75
7	9.0	9.0	10.0	6.96
8	9.0	10.0	7.0	6.43
9	10.0	6.0	10.0	6.54
10	10.0	9.0	8.0	6.72
11	9.0	8.0	10.0	6.74
12	10.0	7.0	9.0	6.52
13	9.5	9.0	10.0	7.10
14	10.0	8.5	9.0	6.86
15	9.0	8.5	10.0	6.85
Важность критерия	35.26	30.70	34.04	-----

В четвертой главе представлена методика, записанная в виде алгоритма создания легкового автомобиля оборудованного КЭСУ. Представлены результаты экспериментальных исследований, легкового автомобиля ИЖ-2126, оборудованного КЭСУ.

Весь процесс оптимального проектирования от постановки задачи до решения вопросов выпуска первой опытной партии автомобилей с КЭСУ формализован и записан в виде методики (алгоритм которой в виде блок-схемы представлен на рис. 4) , т.е. последовательности конкретных действий, приводящих к конечному оптимальному решению, пригодному для реализации в проектируемом автомобиле с КЭСУ.

Проведенные дорожные и лабораторные экспериментальные работы заключались в исследовании режимов работы систем гибридного легкового автомобиля и его тягово-динамических качеств. Цель проведения этих работ заключалась в подтверждении теоретических и расчетных исследований и выявления путей совершенствования КЭСУ конструкция которой представлена на рис. 5.

При испытаниях определялись скоростные свойства, испытания на токсичность (таблица 2, 3), топливная экономичность (таблица 4).

Анализ табл. 4 показывает, что расход топлива гибридного автомобиля по сравнению с базовым автомобилем ИЖ-2126 в городском режиме движения уменьшается на 25 - 30 %.

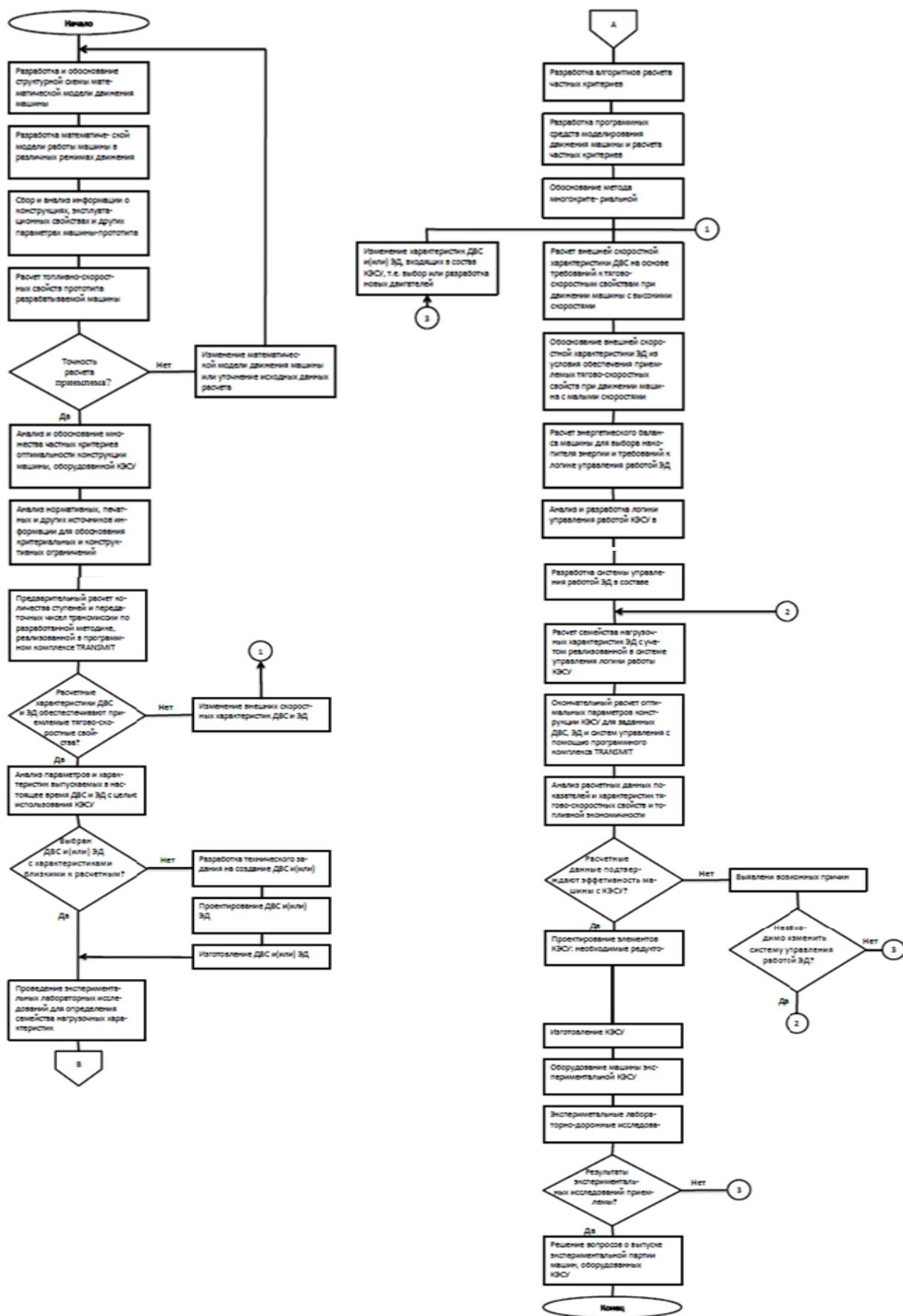


Рисунок 4. Укрупненная блок-схема алгоритма создания легкового автомобиля оборудованного ЭСУ

Эксплуатационный расход топлива гибридного автомобиля в загородном режиме движения определялся на дорогах общего пользования. Протяженность маршрута составила 154 км. При средней эксплуатационной скорости движения 65,5 км/ч расход топлива составил 7,3 л/100 км. Заряженность аккумуляторных батарей в процессе испытательных заездов не изменилась, что свидетельствует об ограничении запаса хода гибридного автомобиля только емкостью топливного бака.

Анализ приведенных результатов испытаний показывает, что гибридный автомобиль наиболее выгодно применять в городских условиях эксплуатации, так как при этом обеспечивается экономия топлива до 30 %.

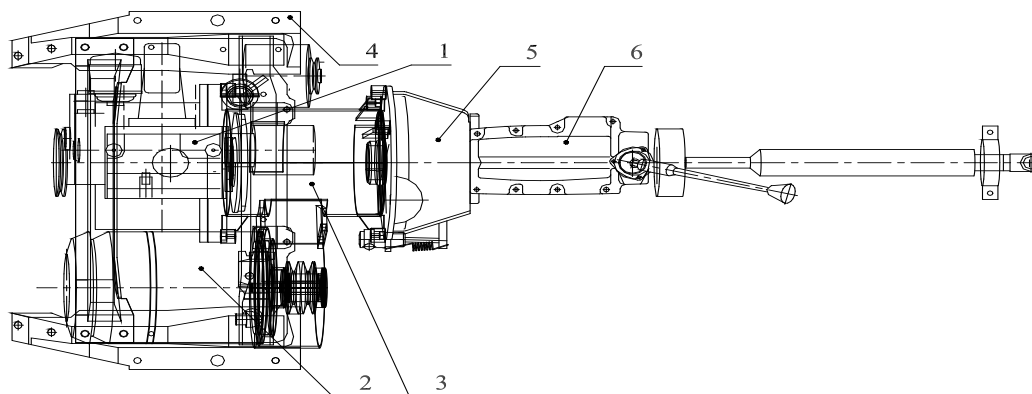


Рисунок 5— Конструкция КЭСУ (1 – ДВС ВАЗ-1111, 2 – ЭД (генератор), 3 – редуктор, 4 – рама энергетической установки, 5 – сцепление, 6 – коробка передач)

Таблица 2 – Результаты испытания на токсичность на холостом ходу согласно ГОСТ 17.2.2.03-87

Частота вращения двигателя, мин ⁻¹	Предельно допустимое содержание окиси углерода (СО), объемная доля, %	Предельно допустимое содержание углеводородов (СН), млн ⁻¹	Результаты испытаний	
			СО	СН
N _{min}	1,5	1200	0,6	240
N _{пов}	2,0	600	1,3	110

Таблица 3 – Результаты испытания на токсичность в ездовом цикле

Выбросы, г/км		Требования ЕВРО 2, г/км		Требования ЕВРО 3, г/км	
СО	СН+NO _x	СО	СН+NO _x	СО	СН+NO _x
2,1	0,45	2,2	0,5	2,3	0,35

Таблица 4 – Результаты испытаний на топливную экономичность в городских условиях эксплуатации

№ заезда	Длина трассы, км	Время в пути, мин	Средняя скорость движения, км/ч	Эксплуатационный расход топлива в городских условиях движения, л/100 км	
				ИЖ-21261 с КЭСУ	ИЖ-21261
1	40	80	31,25	6,7	9,6
2	40	85	29,84	6,95	9,79
3	40	88	26,98	7,12	9,80

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана методика структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля, базирующаяся на графе допустимых вариантов его конструкции, которая позволяет рассмотреть все возможные конструкции гибридного автомобиля.

2. Разработаны и обоснованы новая методика расчета КПД автомобиля и энергетический подход к анализу эффективности КЭСУ.

3. Разработана методика выбора и обоснования базовых параметров КЭСУ параллельной компоновочной схемы легкового автомобиля.

4. Обоснованы наиболее рациональные конструктивные схемы гибридных автомобилей и базовые параметры конструкции КЭСУ параллельной компоновочной схемы легкового автомобиля по критериям топливной экономичности и экологичности.

5. В КЭСУ с точки зрения повышения топливной экономичности наиболее рационально реализовать параллельную работу маломощного ДВС и ЭД, работающего в режиме генератора или двигателя в зависимости от условий движения. ДВС имеет необходимые мощности на высоких частотах вращения вала для движения с большими скоростями, но обладает плохой динамикой разгона автомобиля. ЭД позволяет компенсировать этот недостаток за счет реализации высоких крутящих моментов на малых частотах вращения выходного вала КЭСУ. Поэтому необходимую дополнительную энергию при разгоне можно получать от накопителя энергии через ЭД, а продолжать движение с постоянными и близкими к ним скоростями (при малых ускорениях) только на ДВС.

6. Из-за особенностей внешней скоростной характеристики КЭУ динамичный разгон (разгон за минимально-возможное время) гибридного автомобиля, оборудованного КЭСУ с параллельной компоновочной схемой ДВС и ЭД, практически невозможно реализовать без автоматических систем контроля процесса разгона и переключения передач.

7. Результаты расчетных значений показателей тягово-скоростных свойств по разработанным математическим моделям движения гибридного автомобиля отличаются от экспериментальных значений не более чем на 7,6 %. Это говорит о достаточно высокой степени адекватности разработанных программных средств, а, следовательно, и математических моделей движению реальных гибридных автомобилей.

8. На реальных гибридных автомобилях показано, что применение в конструкциях легковых автомобилей КЭСУ с параллельной компоновочной схемой ДВС и ЭД позволяет в сравнении с автомобилями, оборудованными штатными ДВС, улучшить топливную экономичность до 30 % практически без изменения конструкции автомобиля-носителя КЭСУ и уменьшить общие выбросы в атмосферу токсичных составляющих с отработавшими газами на 35 - 40 %.

9. Результаты диссертационной работы были использованы при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)".

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Филькин Н.М., Копотев Д.А., Галеев И.И., Мазец В.К. Энергетический подход к обоснованию показателя эффективности эксплуатации автотранспортного средства//Грузовик &. – 2009. – № 11. – С. 17-20.

2. Мазец В.К., Филькин Н.М., Музафаров Р.С. Анализ структурных схем кон-

струкций комбинированных энергосиловых установок легковых автомобилей// Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/100-5189>.

3. Мазец В.К., Терехов А.С., Филькин Н.М. Обоснование базовых параметров гибридной энергосиловой установки легкового автомобиля// Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/102-5884>.

4. Филькин Н.М., Умняшкин В.А., Музафаров Р.С., Мазец В.К. Легковой автомобиль с комбинированной энергосиловой установкой// Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 5. – С. 67 – 72.

5. Мазец В.К., Филькин Н.М., Голуб Т.Ю. Подход к структурной оптимизации конструкции гибридного автомобиля// Интеллектуальные системы в производстве: Периодический научно-практический журнал Ижевского государственного технического университета. – Вып. 2 (22). – Ижевск: ИжГТУ. – 2013. – С.74 – 76.

6. Мазец В.К., Филькин Н.М. Алгоритм создания легкового автомобиля оборудованного гибридной энергосиловой установкой// Интеллектуальные системы в производстве: Периодический научно-практический журнал Ижевского государственного технического университета. – Вып. 1 (23). – Ижевск: ИжГТУ. – 2014. – С. 64-67.

В материалах международных, всероссийских и региональных конференций и других научных журналах и изданиях:

7. Мазец В.К., Филькин Н.М., Федоров П.В. Новые конструкторские разработки гибридных автомобилей// Материалы Международной научно-технической конференции к 30-летию автодорожного факультета Пермского государственного университета «Состояние и перспективы транспорта. Обеспечение безопасности дорожного движения». – Том 1. – Пермь: Издательство ПГТУ, 2009. – С. 386-394.

8. Филькин Н.М., Мазец В.К. Структурная оптимизация конструкции гибридного автомобиля// Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». – Екатеринбург: Уральский государственный технический университет – УПИ, 2009. – С. 179-181.

9. Филькин Н.М., Мазец В.К. Анализ конструктивных схем комбинированных (гибридных) энергосиловых установок для легкового автомобиля// Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области машиностроения». – Част 2. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2009. – С. 173-176.

10. Шияев С.А., Старков А.И., Братухин К.С., Мазец В.К., Галлеев И.И. Выбор и обоснование основных конструктивных и мощностных параметров и характеристик гибридной энергосиловой установки// Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области машиностроения». – Част 2. – Тольятти: Тольяттинский государственный университет, 2009. – С. 176-180.

11. Мазец В.К. Расчет КПД энергосиловых установок гибридных автомобилей// Материалы 71-й Международной научно-технической конференции «Безопасность транспортных средств в эксплуатации». – Нижний Новгород: ООО «Виртэк-НН», 2010 г. – С. 74-77.

12. Филькин Н.М., Мазец В.К. Анализ конструктивных схем комбинированных (гибридных) энергосиловых установок для легкового автомобиля// Проведение научных исследований в области машиностроения: сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции с элементами научной школы для молодежи. – Тольятти: ТГУ, 2009. – Ч.2. – С.173-176.

13. Мазец В.К., Имангулов А.Р., Шияев С.А., Филькин Н.М. Выбор и обоснование схемы динамической модели автомобиля, оборудованного КЭСУ параллельной компоновочной схемы с тепловым и электрическим двигателями// Сборник инновационных проектов выставки-сессии ИжГТУ: Второй Республиканский Инновационный форум (электронная версия, Copyright Учебный центр Edgestile). – Ижевск: ИжГТУ, 2010.

14. Мазец В.К., Музафаров Р.С., Умняшкин В.А., Филькин Н.М. Опытный образец

легкового автомобиля с комбинированной энергосиловой установкой// Материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Перспективы развития автомобилей. Развитие транспортных средств с альтернативными энергоустановками». – Тольятти: ОАО «АВТОВАЗ», 2011 г. – С. 53-58.

15. Винокурова А.Н., Мазец В.К., Филькин Н.М. Алгоритм создания комбинированной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы теплового и электрического двигателей// Материалы Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Перспективы развития автомобилей. Развитие транспортных средств с альтернативными энергоустановками». – Тольятти: ОАО «АВТОВАЗ», 2011 г. – С. 59-63.

16. Мазец В.К., Филькин Н.М. Сравнительный анализ КПД комбинированных энергосиловых установок гибридных автомобилей// Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 85-летию транспортного образования в Зауралье и 55-летию Уральского государственного университета путей сообщения «Актуальные проблемы современной науки». – Курган: Издательство КИЖТ, 2011. – С. 74-75.

17. Филькин Н.М., Мазец В.К. Система управления гибридным автомобилем как объектом теории автоматического управления// Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 85-летию транспортного образования в Зауралье и 55-летию Уральского государственного университета путей сообщения «Актуальные проблемы современной науки». – Курган: Издательство КИЖТ, 2011. – С. 150-153.

18. Якимович Б.А., Филькин Н.М., Музафаров Р.С., Мазец В.К. Разработка легкового автомобиля с комбинированной энергосиловой установкой// Труды VI Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера» (ICATS' 2011). – Казань: КГТУ, 2011. – С. 288-295.

19. Филькин Н.М., Умняшкин В.А., Музафаров Р.С., Мазец В.К. Основные положения расчета и обоснования базовых параметров гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы теплового и электрического двигателей// Материалы Международной научно-практической конференции «Проектирование специальных машин для освоения горных территорий». – Владикавказ: Горский госагроуниверситет, 2011. – С. 72-79.

20. Мазец В.К. Анализ возможности применения комбинированных (гибридных) энергосиловых установок в конструкции строительных и дорожных машин// Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Современные научные исследования в дорожном и строительном производстве». – Изд-во: ФГБОУ ВПО «ПГТУ». – г. Пермь, 2011. – т. 1. – С. 118-122.

21. Мазец В.К. Анализ эффективности конструктивных схем гибридных энергосиловых установок // Материалы научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых «Молодые ученые – ускорению научно-технического прогресса в XXI веке» (электронная версия, Copyright Учебный центр Edgestile)/ – Ижевск: ИжГТУ, 2011.

22. Мазец В.К., Филькин Н.М., Музафаров Р.С. Разработка методики структурной оптимизации конструкций комбинированных энергосиловых установок легковых автомобилей// Международная молодежная конференция «Энергоэффективные технологии в транспортных системах будущего». – М.: МГТУ "МАМИ", 2011. – С. 19-24.

23. Мазец В.К., Филькин Н.М. Обоснование рациональных параметров и характеристик гибридной энергосиловой установки// Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Машиностроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства». – Ижевск: Издательство ИжГТУ, 2012. – С. 98-101.

24. Мазец В.К. Анализ КПД гибридных энергосиловых установок легковых автомобилей// Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и

производства». - Ижевск: Издательство ИжГТУ, 2013. – С. 99-105.

25. Мазец В.К., Филькин Н.М. Обоснование основных параметров и характеристик комбинированной энергосиловой установки автомобиля// Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Автомобилестроение: проектирование, конструирование, расчет и технологии ремонта и производства». - Ижевск: Издательство ИННОВА, 2015. – С. 49-53.

Научно-технические отчеты:

26. Разработка методик структурной и параметрической оптимизации комбинированных (гибридных) энергосиловых установок транспортных средств: Отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)". Номер государственной регистрации НИР: ВНИИЦ, 01.2.00 901933/ Ижевский государственный технический университет; Руководитель работы Н.М. Филькин. – Ижевск: ИжГТУ, (1 этап: 2009 г. – 112 с.; 2 этап: 2009 г. – 209 с.; 3 этап: 2010 г. – 256 с.; 4 этап: 2010 г. – 147 с.). – Отв. исполн. В.А. Умняшкин; Соисполн.: Р.С. Музафаров, Д.А. Копотев, В.К. Мазец и др.

27. Создание энергоэффективных двигателей и движетелей для транспортных средств, по проблеме «Создание комбинированной энергосиловой установки для городского легкового автомобиля: Промежуточный отчет о поисковой научно-исследовательской работе, выполненной в рамках мероприятия №1.2.2 «Проведение научных исследований научными группами под руководством кандидатов наук» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы» / Государственный контракт № П1449 от 03 сентября 2009 г./ Ижевский государственный технический университет; Руководитель проекта С.А. Шиляев. – Ижевск: ИжГТУ, (2 этап: 2010 г. – 150 с.; 3 этап: 2011 г. – 186 с.). – Отв. исполн. Д.А. Копотев; Соисполн.: А.И. Старков, К.С. Братухин, А.Р. Имангулов, В.К. Мазец.

28. Разработка методик структурной и параметрической оптимизации комбинированных (гибридных) энергосиловых установок транспортных средств: Отчет о научно-исследовательской работе, выполненной в рамках аналитической ведомственной целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы) на 2011 год". Номер государственной регистрации НИР: ВНИИЦ, 01.2.00 901933/ Ижевский государственный технический университет; Руководитель работы Н.М. Филькин. – Ижевск: ИжГТУ, (5 этап: 2011 г. – 128 с.; 6 этап: 2011 г. – 88 с.). – Отв. исполн. В.А. Умняшкин; Соисполн.: Р.С. Музафаров, Д.А. Копотев, В.К. Мазец и др.